

EPR (出力/入力)

電気を得る手段 (発電) をEPRで評価

エネルギーの「質」から、将来の石油代替エネルギーを考える EPR (エネルギー収支比) という指標を用いた分析

エネルギーの「質」とは何か

EPRでわかる「質」の違い

未来に向けた議論を

ひとこと 原子力技術研究所 次世代サイクル領域

上級特別契約研究員 天野 治

エネルギーの「質」とは何か

今後、世界全体でのエネルギー使用量は、中国・インドなどの急激な成長により、西暦2050年の時点で2000年に比べて約2倍にまで増加することが見込まれています。(1)

しかし一方で、一次エネルギーの40%を占めている石油や、20%を占める天然ガスは、取り出しやすく経済性に優れたものは既にその半分近くを使い果たしており、今後は取り出すためにエネルギーのかかる部分を使っていかねばなりません。また、化石エネルギーの使用は地球温暖化を進める原因ともされ、その代替エネルギー源に関しても、こういったエネルギーを利用し、何を研究開発していけばよいのかが課題になります。

それらを考える際に、各種エネルギーをその「質」の面から分析する方法として、EPR(エネルギー収支比)という考え方があります。

(1) 国際機関・国際応用システム分析研究所(IIASA)の将来予想シナリオ(シナリオB)による(図1)

EPR(エネルギー収支比)とは

EPRとはenergy profit ratioの略で、得られるエネルギーを、それを取り出すためのエネルギーで除したものを「エネルギー収支比」のことです。つまりEPRが1であれば、あるエネルギー源から得られるエネルギーと、それを取り出すためのエネルギーが同じになり、益がないこととなります。従って、この値が大きければ大きいほど、「質」のいいエネルギーということになり、各種エネルギーを定量的に評価することで、それぞれの優位性や、技術的に解決すべき課題を、客観的に明らかにすることが可能となります。

なお、EPRを算出するには、燃料採掘・輸送、発電施設の建設・運転・補修、廃施設、廃棄物の処理・処分など、エネルギーを取り出すために必要な全ての項目を可能な限り取り込んで計算します。

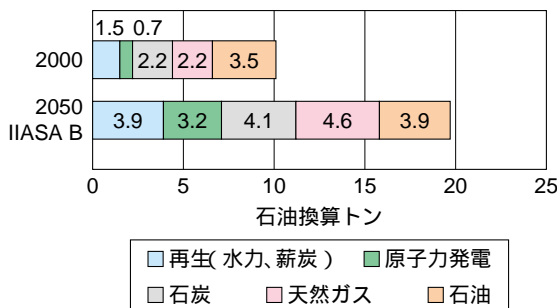


図1 世界の一次エネルギーの予測

劣化してきた化石エネルギー

石油も油田が発見された当初は、ボーリングの井戸から勢いよく自噴し、取り出すエネルギーが非常に少なくて済むため、例えば米国での採掘当初のEPRは100を超えていました。

しかし、1/3も取り出すと、徐々に自噴しなくなり、その後は海水をポンプで注入し圧力をかけ、反対側から取り出す方法や、更に残り少なくなると、高圧の液体状の二酸化炭素(CO₂)を注入し、どろどろの石油残渣を溶かして取り出す方法が用いられています。このため、石油を取り出すのに、多くのエネルギーが必要になり、同じ米国で、1970年代にはEPRは8まで低下し、「質」は悪くなってきています。

また、発電効率の良いLNG火力のEPRが低いのは、燃料の液化に大きなエネルギーが必要となるためです。

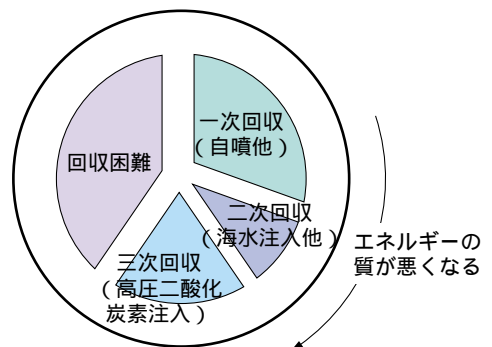


図2 石油回収とEPR

EPRでわかる「質」の違い

自然エネルギーの質

風力や太陽光で発電する場合、自然エネルギーを利用しているため、将来も質は変わらず、EPRは劣化しません。また、CO₂を発生させないメリットもあります。しかし、EPRそのものは低くなっています。

風力や太陽光のEPRが低いのは、元々自然エネルギーの密度（定格値自体あるいは定格に対する割合）が低いことと、例えば風力では風が吹いて電気を起こす時間の短いこと、つまり稼働率が低いことが理由です。比較的風の強い北海道でも冬で定格の30%程度、夏は風が吹かれる風の状態が続き、平均すると定格の10%程度の出力となり（図3）このためEPRは3.9程度となっています。太陽光でも発電できるのは、昼間8時間程度で、雨や曇天では発電できないことからEPRは2前後になります。

波力、潮力、海洋温度差発電も質は劣化しませんが、EPRは1.9から2.5となっています。中小水力、地熱に関しては15.3、6.8と比較的EPRは高いものの、我が国では立地場所を大幅に増やせないなどの問題があります。（表紙図）

質が向上した原子力

1980年代の原子力発電所のEPRは6程度と低いものでした。原子力発電所の燃料は、天然ウラン中の²³⁵Uを5倍程度に濃縮（0.7→3.5%）していますが、従来のウラン濃縮法であるガス拡散法では、²³⁵Uと残り大半の²³⁸Uを直列、並列に組んだ多数の隔膜で分離し、それぞれに消費電力の大きなポンプで圧力をかける必要がありました。このため、濃縮だけで入力エネルギーの85%を占めるほどの莫大なエネルギーが必要だったことが理由です。

しかしその後、ウラン濃縮の技術開発が進み、消費電力がガス拡散法に比べ1/24と小さい遠心濃縮が欧州、日本で採用されました。遠心濃縮法では起動時に電力を消費しますが、以後は一定速度運転で運転中の摩擦ロスを非常に少なくしています。このため、原子力発電のEPRは28.2まで大きく向上しました。（表紙図）

ただし、世界的には濃縮方法がガス拡散法と遠心法で同程度の生産規模となっていることから、現状での原子力発電のEPRは両者の平均と考えると、 $(6.6 + 28.2) / 2 = 17.4$ 程度と考えられます。

なお、全量遠心濃縮法で、かつ欧米で既に行われている原子力発電プラントの運転条件（稼働率90%、出力を120%まで増強）を前提に計算すると、EPRは40を超えることも可能になり、エネルギーとしての質を更に大幅に改善する余地も残されています。

原子力発電では、高レベル廃棄物処分や廃炉にかかるエネルギーを考慮する必要がありますが、これらを加味した場合でも、EPRは数%の低下に止まり、全体に対して大きな影響は与えないものと考えられます。

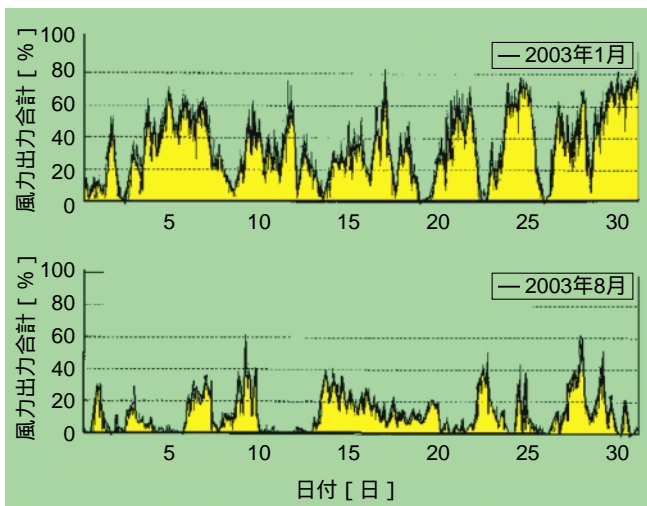


図3 風力発電の出力（冬と夏、北海道）

（出典 原文振「原子力・エネルギー」図面集2005 - 2006）

未来に向けた議論を

EPRからわかる課題

化石エネルギーは、現在でも既にEPRでみたエネルギーの「質」は悪くなりつつあり、これからの改善する見込みはありません。

自然エネルギーに関しては、「質」は落ちないものの、現状よりもEPRを上げるためには、一層各機器の発電効率を上げたり、耐用年数を大幅に延ばすなどの工夫と、革新的な技術開発が必要と考えられます。

原子力をEPRでみた場合、相対的に優位なエネルギー源であることがわかります。また、既に実用化されている遠心法を用いる割合を増やしたり、プラント稼働率を向上させるとともに、更には新しい合理的な免震技術などを取り入れて、多大な建設エネルギー（図4）の削減などもできれば、これからの格段にEPRを高められる可能性があります。従って、それらに向けた一層の技術開発や、社会の合意形成に向けた努力を続けることが重要となります。

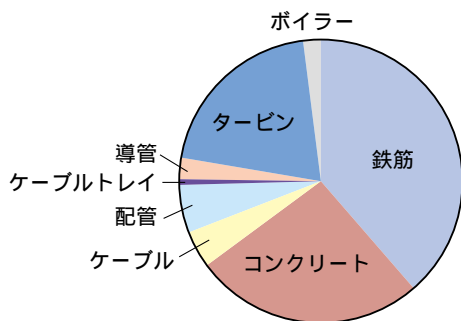


図4 原子力発電所建設の素材エネルギーの内訳

エネルギーの将来像をどう考えるか

これからの将来を考えると、第一には未だに人類が依存している石油など化石燃料の浪費を避け、合理的に使うことが必要となります。

しかし近い将来、我々は化石燃料から別の何かに、エネルギー源をシフトしていかねばならない時がやってきます。代替エネルギーを検討するには、部分最適化ではなく、総合的に全体最適化を目指すことが重要であり、こうした点からも全体を見通してエネルギーの「質」を定量的に数値化できるEPRは有力な指標になると思われる。

今後はこうした手法も利用して、これからの将来に関する議論をより活発にしていく必要があると考えます。

ひとこと



原子力技術研究所
次世代サイクル領域
上級特別契約研究員

天野 治

EPRでは、石油などの海外採掘から我が国までの輸送および発電、全体にかかるエネルギーを評価します。

このため、全体の中のどこにエネルギーが多くかかっているかがわかり、全体最適化を考える道具になります。また、一般

の方にわかりやすく説明することもできます。さらには、全体のエネルギーを少なくするビジネスモデルの検討にも使えるなど、汎用的で有効な手法だと考えます。

既刊「電中研ニュース」ご案内

- No.438 電力システムの安定性をリアルタイムで判定
- No.437 安全で高性能な電力貯蔵用電池を作る

- No.436 25年間の世界の気候を精緻に再現
- No.435 一人暮らしのお年寄りを見守る